

地球物理测井技术在铜镍多金属矿区中的应用

王冬

(河南省资源环境调查三院有限公司, 河南郑州 450000)

摘要:地球物理测井技术在铜镍多金属矿区勘查中发挥着重要作用。通过测量岩石物性参数,实现对矿体的识别与圈定。研究区矿化带在视密度、视电阻率、磁化率和视极化率等参数上表现出显著异常,形成高密度、高磁化率、高极化率、低电阻率的“三高一低”特征,为矿化带的识别提供了关键性物性指标。同时,不同岩性在测井曲线上呈现特征性响应,可有效区分矿化岩体与围岩。研究结果表明,测井数据与实际矿化情况具有良好对应关系,可为深部矿体勘查提供精准指导,提高矿产资源的勘探效率。

关键词:地球物理测井;铜镍多金属矿区;矿化带识别;物性特征;找矿勘查

DOI:10.19465/j.cnki.2095-9710.2025.04.055

随着我国经济的持续发展,对矿产资源的需求不断增加。然而,地表及浅部矿产资源日益枯竭,深部找矿已成为当前矿产勘查的主要方向。青海省都兰县铜镍多金属矿区作为我国重要的铜镍资源基地之一,其深部找矿潜力巨大。但深部矿体普遍具有埋藏深、构造复杂、勘查难度大等特点,传统地质填图方法在深部勘查中受到诸多限制。地球物理测井技术能够通过测量岩矿体的物理性质差异,获取岩性、构造和矿化信息,在深部矿产勘查中具有独特优势。

1 区域地质概况

研究区位于青海省都兰县北部,处于祁连造山带中段南缘,大地构造位置属于柴达木地块北缘。区内地形以中低山丘陵为主,海拔2 800~3 500 m。区域构造发育NW向和NE向两组主干断裂,其中NW向断裂为控矿主导构造。

区内地层主要由元古代变质岩系和古生代沉积岩系组成。岩浆岩以基性-超基性岩体为主,呈岩席状或似层状产出,主要岩性为辉长岩、橄榄辉长岩和纯橄岩。成矿作用主要与中生代岩浆活动有关,形成了以铜镍硫化物为主的多金属矿化。矿体主要赋存于基性-超基性岩体中,呈层状、似层状或透镜状产出。

2 地球物理特征

2.1 密度特征

研究区内不同岩性密度差异明显,从酸性到超

基性岩,密度呈递增趋势。超基性岩体中橄榄岩密度最大,平均密度 3.15 g/cm^3 ;纯橄岩次之,平均密度 3.08 g/cm^3 ;辉长岩平均密度 2.95 g/cm^3 ;闪长岩平均密度 2.82 g/cm^3 。变质岩系中片麻岩和片岩的密度相对较低,平均密度 $2.70\sim 2.75\text{ g/cm}^3$ 。含矿岩石的密度变化主要受矿化类型和矿化强度控制,其中含磁黄铁矿化的辉长岩密度明显高于未矿化辉长岩(可达 3.20 g/cm^3 以上);含镍黄铁矿化的橄榄岩密度增幅更大,局部可达 3.35 g/cm^3 。这种密度异常主要是由于硫化物矿物(磁黄铁矿、镍黄铁矿)本身具有较高的密度,其充填和交代作用使原岩密度显著增加。此外,蚀变作用对岩石密度也有重要影响,绿泥石化和蛇纹石化会导致密度降低,而硅化则使密度略有升高。

2.2 磁性特征

区内岩石磁性特征与岩性类型和矿化蚀变关系密切。基性-超基性岩体具有较强的磁性,其中橄榄辉长岩磁化率最高,平均值达 $3\ 850\times 10^{-5}\text{ SI}$;纯橄岩磁化率次之,平均值为 $2\ 980\times 10^{-5}\text{ SI}$;普通辉长岩磁化率相对较低,平均值为 $1\ 850\times 10^{-5}\text{ SI}$ 。这种差异主要由岩石中磁铁矿含量不同所致。变质岩系磁化率普遍较低,片麻岩和片岩的磁化率一般小于 $500\times 10^{-5}\text{ SI}$ 。矿化作用对岩石磁性影响显著,磁黄铁矿化导致岩石的磁化率升高,而镍黄铁矿化则使岩石的磁化率相对降低。蛇纹石化过程中会形成次生磁铁矿,使蚀变岩石的磁化率明显增强,局部可达 $4\ 500\times 10^{-5}\text{ SI}$ 以上。此外,区内岩石的剩磁强

作者简介:王冬,男,河南洛阳人,工程师,本科,研究方向:地球物理测井。

度与磁化率呈正相关关系,但剩磁方向较为分散,反映了多期构造运动的影响。

2.3 电性特征

岩石的电性参数主要包括视电阻率和激发极化率。基性-超基性岩体的电阻率普遍较低,橄榄岩平均电阻率为 $850\ \Omega\cdot\text{m}$,辉长岩平均电阻率为 $1\ 200\ \Omega\cdot\text{m}$ 。变质岩系电阻率相对较高,片麻岩电阻率可达 $3\ 000\sim 5\ 000\ \Omega\cdot\text{m}$ 。矿化带的电性特征最为显著,含硫化物矿化带具有低电阻率和高极化率的双重特征。其中,致密块状硫化物矿体的视电阻率低至 $50\sim 200\ \Omega\cdot\text{m}$,而极化率可高达 $25\%\sim 35\%$ 。浸染状-网脉状矿化带的电阻率为 $300\sim 800\ \Omega\cdot\text{m}$,极化率一般为 $15\%\sim 25\%$ ^[1]。通过对比分析发现,极化率参数对硫化物矿化的响应最为敏感,可作为寻找隐伏矿体的重要指标。

3 数据采集与处理

3.1 测井仪器与技术

本次测井工作采用 DigiLOG-III 数字化测井系统,该系统具有高精度、强抗干扰和多参数同时测量的特点。系统主要由地面设备(主机、绞车、控制器)和井下设备(各类测井探头)组成。测井探头包括密度探管(DENG-01)、磁性探管(MAG-02)、电法探管(ELE-03)和自然伽马探管(GAM-01)等。测井系统采样精度可达 $0.01\ \text{m}$,数据采集过程实时显示和存储,保证了原始数据的质量。

3.2 测井参数选择

根据研究区铜镍硫化物矿体的物性特征及其与围岩的物性差异,经过多次试验比选,确定了最优测井参数组合(见表1)。

表1 测井参数及技术要求

测井参数	测量范围	分辨率	测井速度/ ($\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$)	采样间 隔/ m
自然伽马	$0\sim 500\ \mu\text{R}/\text{h}$	$1\ \mu\text{R}/\text{h}$	6	0.1
视电阻率	$0.2\sim 2\ 000\ \Omega\cdot\text{m}$	$0.1\ \Omega\cdot\text{m}$	6	0.1
视极化率	$0\sim 40\%$	0.1%	4	0.5
磁化率	$(0\sim 9\ 999)\times 10^{-5}\ \text{SI}$	$1\times 10^{-5}\ \text{SI}$	6	0.1
密度	$1.5\sim 4.0\ (\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	$0.01\ \text{g}/\text{cm}^3$	5	0.1

3.3 数据采集过程

本次测井工作共完成15个钻孔,累计进尺4 526 m。测井前对钻孔进行了处理,包括孔内清洗、下管固壁等。

所有测井数据经过系统标定转换为实际物理

量,并进行了测井曲线的接头处理、井深校正等预处理工作。

4 测井响应特征分析

4.1 岩性划分

通过对研究区15个钻孔测井数据的系统分析,结合钻探取心资料,发现区内主要岩性包括辉长岩、橄榄辉长岩、纯橄岩、闪长岩和变质岩等^[2]。

通过大量测井数据统计分析发现,辉长岩作为区内主要赋矿岩性,具有典型的低视密度、低视电阻率、高磁化率和高视极化率的组合特征。闪长岩则表现为低视密度、中等视电阻率、中等磁化率和中低视极化率的组合特征,反映了其较低的铁镁质矿物含量。辉石岩由于结晶程度较高,显示出高视密度、中等视电阻率、中等磁化率和低视极化率的组合特征。石英脉因其成分单一,呈现中高视密度、低视电阻率、低磁化率和中低视极化率的组合特征。辉石闪长岩作为过渡性岩石,具有低视密度、高视电阻率、低磁化率和中低视极化率的特点。

4.2 矿化带识别

研究区矿化带主要赋存于辉长岩中。通过系统的测井资料分析,发现矿化带具有显著的“三高一低”物性组合特征,即高视极化率、高磁化率、高视密度及低视电阻率。这种组合特征与硫化物矿化类型及其赋存状态密切相关,可作为识别隐伏矿体的重要标志^[3]。

矿化带的测井响应强度与矿化程度呈明显的正相关关系。强矿化带主要表现为极化率异常,振幅最大,可达围岩背景值的 $3\sim 4$ 倍;其次是磁化率异常,主要反映磁黄铁矿的富集程度;视密度异常则与矿化物充填程度相关。视电阻率的降低主要受控于导电性硫化物矿物的含量,但也易受构造破碎带和地下水的影响^[4],因此在解释时需要结合其他参数综合分析(见表2)。

弱矿化带虽然异常振幅相对较小,但仍可通过多参数曲线的综合分析进行识别。特别是在厚大矿体的边部,往往发育渐变的蚀变带,这些区域在测井曲线上表现为渐变的异常过渡带,对圈定矿体边界具有重要意义。

这些岩性在测井曲线上的差异性响应,为非取心段岩性的准确划分提供了可靠依据。特别是在矿化蚀变发育的区段,通过测井曲线的综合分析,可以较好地识别原生岩性,为成矿地质条件研究提供基础资料。

表 2 主要岩性测井响应特征统计表

岩性类型	视密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	视电阻率/ ($\Omega \cdot \text{m}$)	磁化率/ 10^{-5}SI	视极化 率/%
石英脉	2.892 ± 0.127	488 ± 156	694 ± 168	6.9 ± 2.3
辉长岩	2.743 ± 0.098	335 ± 123	710 ± 187	35.6 ± 4.8
闪长岩	2.756 ± 0.112	$2\,463 \pm 342$	621 ± 145	8.4 ± 2.6
辉石岩	3.123 ± 0.156	$3\,875 \pm 456$	652 ± 176	5.7 ± 1.8
辉石闪长岩	2.687 ± 0.089	$6\,250 \pm 527$	428 ± 134	7.2 ± 2.1

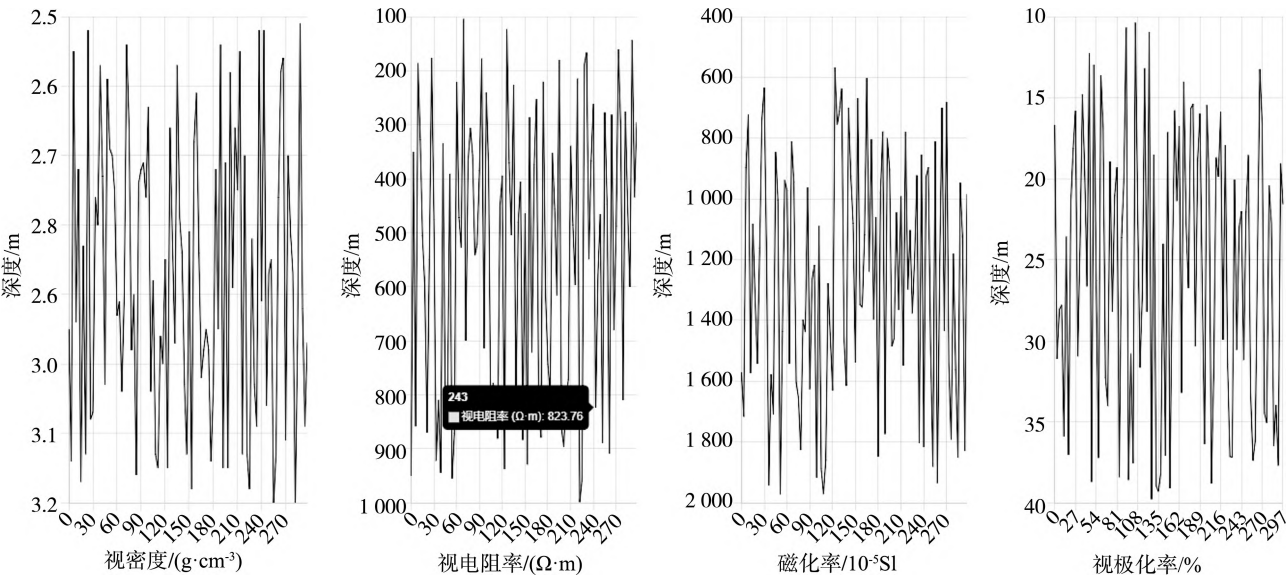


图 1 典型钻孔测井综合曲线

通过对大量钻孔资料的分析,共识别出 5 个主要矿化带。这些矿化带均具有典型的“三高一低”特征。值得注意的是,不同矿化带的测井异常强度存在差异,这主要反映了矿化强度的空间变化。同时,矿化带的厚度与测井曲线异常的延伸范围具有良好的对应关系,为精确圈定矿体边界提供了依据。

5 结论

地球物理测井技术在铜镍多金属矿区的应用有效识别了主要矿化带的物性特征,揭示了矿化带在视密度、视电阻率、磁化率和视极化率等参数上的显著异常。矿化带普遍表现为高密度、高磁化率、高极化率和低电阻率的“三高一低”特征,为深部矿体的精准识别提供了可靠依据。岩性测井特征分析显示,不同岩性在测井参数上具有明显差

4.3 测井曲线响应特征

图 1 所示为研究区典型钻孔的综合测井曲线,清晰地展示了不同岩性段和矿化带的测井响应特征。从曲线形态看,矿化带一般呈现出明显的尖峰状或台阶状异常,这与矿化的突变性特征相对应。而围岩段则多表现为平缓的基线特征,仅在岩性接触带处出现渐变的过渡带。

异,测井数据能够有效区分岩性类别及矿化类型。测井方法的应用提升了矿产勘查的精度,为隐伏矿体的圈定提供了科学依据,为后续找矿提供了重要技术支撑。

参考文献:

[1] 沈立军,朱裕振,李双,等. 地球物理测井在金属矿深部找矿中的应用[J]. 测井技术,2021,45(4):431-438.

[2] 刘晓斐. 地球物理测井在金属矿深部找矿中的应用[J]. 世界有色金属,2023(16):62-64.

[3] 朱义坤,赵景怀,缪旭煌,等. 综合物探方法在蚌埠隆起金多金属矿勘查中的应用:以怀远双沟勘查区为例[J]. 华东地质,2023,44(1):82-92.

[4] 杨玲,曹蔚杰. 论测井曲线在地层划分及标志层识别方面的应用:以某矿区补勘地质报告为例[J]. 现代盐化工,2024,51(4):116-117,122.